

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Katedra enviromentálního inženýrství

VYHODNOCENÍ A OPTIMALIZACE VYBRANÝCH PARAMETRŮ
NA ČOV HAVÍŘOV

Bakalářská práce

Autor:

Eliška Zegzulková

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Miroslav Kyncl

Ostrava 2020

VŠB-TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA

FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Department of Environmental Engineering

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF SELECTED
PARAMETERS AT WWTP HAVÍŘOV

Bachelor thesis

Author:

Eliška Zegzulková

Supervisor:

prof. Dr. Ing. Miroslav Kyncl

Ostrava 2020

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Katedra environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Eliška Zegzulková**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 2102R006 Technologie a hospodaření s vodou
Téma: **Vyhodnocení a optimalizace vybraných parametrů na ČOV Havířov**
Evaluation and optimization of selected parameters at WWTP Havířov
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úvod

Biologické procesy čištění odpadních vod a základní parametry procesů

ČOV Havířov a její provozování

Sledování vybraných parametrů a jejich analýza.

Hodnocení získaných výsledků

Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Dohányos M., Koller J., Strnadová N.: Čištění odpadních vod, VŠCHT Praha, 2007, ISBN 978-80-7080-619-1

Water treatment handbook, France: Degremont, 2007 vol.1. 785 p. ISBN 978-2-74030-0970-0

Hlavínek, P., Mičín J., Prax, P.: Příručka stokování a čištění, NOEL 2005 s.r.o. Brno 2001

Synáček, Synáček: Vodní hospodářství obcí I, Úprava a čištění vod. Skripta ČVUT Praha, 2006, ISBN 978-80-7080-729-3

Bindzar J. kol.: Základy úpravy a čištění vod, Skripta VŠCHT Praha, 2009,

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Miroslav Kyncl**

Datum zadání: 31.10.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., dr.h.c.
děkan fakulty

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 30.5.2020

Eliška Zegzulková



PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce prof. Dr. Ing. Miroslavovi Kynclovi za odbornou pomoc a rady, připomínky a pevné nervy během zpracování mé práce. Zároveň bych chtěla poděkovat vedoucí ČOV v Havířově Ing. Marcele Zrubkové, Ph.D. a slečně Ing. Evě Starostkové, která mi byla nápomocná k získání potřebných informací o čistírně a dat ke zpracování v mé práci. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině, která je mou velkou oporou při mém vysokoškolském studiu.

ANOTACE PRÁCE

V bakalářské práci jsem se zabývala vyhodnocením vybraných technologických parametrů čistírny odpadních vod v Havířově. V první části práce je popsán princip biologického čištění odpadních vod založený na působení mikroorganismů a odstranění dusíku z odpadních vod činností nitrifikační jednotky. Dále je v bakalářské práci popsán vývoj ČOV v Havířově od jejího vzniku v roce 1961, rozsáhlá přestavba v roce 1994 a následná rekonstrukce roku 2005. V praktické části práce byly z dostupných dat zjištěny vybrané parametry dané čistírny, a to doba zdržení a povrchové hydraulické zatížení usazovací nádrže a doba zdržení a objemové zatížení aktivační nádrže. Z výsledných hodnot bylo vyhodnoceno fungování čistírny.

Klíčová slova: čistírna odpadních vod, odpadní voda, biologické čištění odpadních vod, ČOV Havířov, parametry procesů ČOV

Summary

In this bachelor thesis I evaluated selected technological parameters of wastewater treatment plant in Havířov, Czech Republic. In the first part of the thesis the principles of biological wastewater treatment based on microorganism influence and nitrogen elimination due to nitrification processes in wastewater are described. Furthermore, the thesis describes WWTP in Havířov development in time since its establishment in 1961, extensive rebuilding in 1994 and reconstruction in 2005. In the practical part of the thesis several parameters are evaluated, those parameters were computed from the accessible data. Evaluated parameters were the time delay and the surface hydraulic load of sedimentation tank and the time delay and the volumetric load of the activation tank. The resulting values were used to evaluate the WWTP function.

Key words: wastewater treatment plant, wastewater, biological water treatment, WWTP Havířov, parameters of WWTP processes

OBSAH

1 úvod.....	1
2 Biologické procesy čištění odpadních vod a základní parametry procesů.....	2
2.1 Vývoj čistírenství	3
2.2 Čištění odpadních vod	5
2.2.1 Biologické procesy	6
2.3 Parametry procesů	11
2.3.1 Parametry usazování ČOV	11
2.3.2 Parametry aktivace ČOV	13
3 ČOV Havířov a její provozování.....	16
3.1 Původní technologie z roku 1961	16
3.2 Přestavba 1994	19
3.3 Rekonstrukce 2005	23
4 Sledování vybraných parametrů a jejich analýza	28
4.1 Usazovací nádrže.....	29
4.1.1 Teoretická doba zdržení	29
4.1.2. Skutečná doba zdržení.....	30
4.1.3 Povrchové hydraulické zatížení.....	31
4.2 Aktivace.....	33
4.2.1 Teoretická doba zdržení	33
4.2.2. Skutečná doba zdržení.....	34
4.2.3 Objemové zatížení aktivační nádrže.....	36
5 Hodnocení získaných výsledků	38
5.1 Usazovací nádrže.....	38
5.2 Aktivace.....	40

6 závěr	42
seznam použité literatury	1
seznam použitých zkratek	4
seznam obrázků	5
seznam tabulek	6
seznam grafů.....	7

1 ÚVOD

„Průmysl, komíny, černý kouř, odhozené plastové láhve

Někde během cesty jsme zapomněli, jak si vážit vody. Voda vyvěrající ze země je znečištěná, voda z našich kohoutků postrádá dobrou chuť, a tak používáme vodu z plastových lahví.“ (Emoto, 2005)

Celosvětovým trendem se každým dnem stále více stává co nejdůslednější záchyt, odvod a čištění odpadních vod. To je bezesporu zapotřebí pro zajištění dobrého zdraví světové populace. Bohužel, svět se stále nachází na míle daleko od ideálního stavu, což je viditelné např. na africkém kontinentu, kde se starost o odpadní vody ani zdaleka nevyrovná snaze o zásobování vodou pitnou, přestože tato dvě odvětví spolu úzce souvisí. (Henze, 2008) Debaty o odpadní vodě jsou bohužel ve společnosti stále zatíženy určitým stigmaem, díky kterému se diskuse na toto téma řadí mezi sociální tabu. (Lofrano, 2010)

Cílem mé bakalářské práce je zhodnotit technologické parametry čistírny odpadních vod v Havířově.

Práce je rozdělena na část teoretickou, která se zabývá biologickým čištěním odpadních vod, což je považováno za nejdůležitější část čistícího komplexu. Následně je vyhodnocen vývoj čistírny v Havířově od jejího vzniku do současnosti, byla vystavěna v roce 1960, následně prošla rozsáhlou přestavbou v roce 1994 a v důsledku změny legislativy a vývojem nových technologií úpravami také v roce 2005. Vyhodnocené parametry se týkají technologických systémů usazovacích nádrží a aktivační jednotky.

2 BIOLOGICKÉ PROCESY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD A ZÁKLADNÍ PARAMETRY PROCESŮ

Hlavními dvěma důvody pro čištění odpadních vod jsou v první řadě ochrana veřejného zdraví a dále zamezení znečištění a ochrana životního prostředí. Starost o vypouštěné použité vody by měla předcházet starosti jímání vody pitné. (Gray 2004) Procesy čištění odpadních vod a dezinfekce vody již úspěšně zredukovaly nemoci vznikající v odpadní vodě v rozvinutých zemích, nicméně na spoustě míst světa je použitá voda nechávána bez jakéhokoli čistícího procesu. Toto přináší problém nemocí jako břišní tyfus, úplavice aj. Proto je v současné době trendem odpadní vodu vyčistit co nejlépe s ohledem na ekonomické výdaje.

Největším znečišťovatelem odpadních vod jsou biologicky rozložitelné odpady, přestože stoupá i procento vypouštěných toxických anorganických i organických materiálů. Biologický odpad v městských zástavbách je odváděn kanalizací, zároveň je odváděna i dešťová voda, splašky z průmyslových areálů a zemědělské produkce. Některé průmyslové odpady nepodléhají biologické rozložitelnosti, tudíž musí být zpracovány speciálními chemickými procesy neutralizace, srážení, koagulace, reverzní osmózy, iontové výměny nebo adsorpcí na aktivní uhlík. (Gray, 2004)

Existují hlavní dva typy kanalizačních systémů, které odvádí odpadní vody z budov a podniků, a to systém jednotný a oddílný. Na území ČR se z větší části nachází jednotný systém, který se vyznačuje odvodem veškeré vody z budov a areálů společně s odtokem z cest, chodníků a střech domů. Společný systém na odvodu veškeré vody poté vede ke zvýšenému průtoku a naředění splašků na přítoku do ČOV v závislosti na dešťových srážkách. Oddílný systém naopak zabraňuje výkyvům přítoku během intenzivních dešťů, díky tomu se při návrhu konkrétní technologie čištění může pracovat s přesnějším předpokládaným budoucím průtokem a technologie čištění dosahuje vyšších kvalit odváděné vyčištěné vody.

Velkým příkladem pro zbytek světa v oblasti zpracování odpadní i pitné vody je v současné době Izrael. Na většině jeho území se v dnešní době nachází poušť, přesto tato země netrpí akutními problémy nedostatku pitné vody ani otázkou, jak odpadní vody efektivně čistit. Naopak jsou vyčištěné odpadní vody využívány na maximum jako vody užitkové jak v bytových zástavbách, tak v zemědělství na zavlažování polí a sadů. Izrael také jako první

na světě začal experimentovat se zasakováním vyčištěné odpadní vody do vod podzemních spoléhající na dočištění užitečných vod při dlouhodobém průchodu vody horninami do podzemních rezervoárů. (Siegel, 2016)

Dnešní složení odpadních vod se v mnoha ohledech neliší tomu, co bylo kanalizací odváděno v počátcích výstavby kanalizačních systémů a snaze společnosti postarat se o svůj odpad. Voda je rozdělována podle svého původu – domácí, průmyslová, komerční a městská. Voda odváděná z domácností obsahuje chemické čisticí prostředky, detergenty, bakterie a jiné patogeny. Mezi průmyslové odpadní vody se řadí odvody z továren a výrobních míst a vody komerční přichází do systémů z kanceláří, hotelů obchodů a jiných veřejně využívaných působišť. Městské vody většinou vznikají smícháním veškerých odváděných vod do jednoho systému. (Lofrano, 2010)

Plánování systémů vodovodů a kanalizací se na území ČR řídí zákonem č.274/2001 Sb. a to Zákonem o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a Zákonem č.254/2001 Zákonem o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon). (ČR, 2001)

2.1 Vývoj čistírenství

Čištění odpadních vod začalo být velmi diskutovaným tématem až ve 20.století, do té doby toto odvětví procházelo určitým vývojem převážně v době starověkých civilizací. Lidský druh dlouho spoléhal na rozklad svého odpadu přirozenými biologickými cykly.

První zdokumentované kanalizační systémy existovaly na území tehdejší Mezopotámie (3500-2500 př.n.l.) ve městech Ur a Babylón (Lofrano, 2010), avšak prvotní snahy o čištění odpadní vody byly nalezeny v ruinách měst Harappa a Mohendžodaro kolem řeky Indus v Indii. (Soukupová, 2018) Důležitost vyvinuté městské kanalizace a potenciální negativní důsledky na lidské zdraví si uvědomovali i staří Řekové. Ti měli ve svých městech již 300 let před našim letopočtem propracovaný systém veřejných toalet odvádějící odpad společně s dešťovou vodou za město do zemědělských oblastí, kde se odpadní voda používala na závlahy a zároveň jako hnojivo půdy. (Henze, 2008) V tomto se inspirovali také Římané, kteří odváděli splašky do vybudovaných kanálů pod Římem, které končily v řece Tibeře. Co bylo vybudováno na řeckých základech se Římanům podařilo zdokonalit, např. užíváním použité vody z lázní na splachování latrín a odpadu a zajištění plynulého odtoku. (Lofrano, 2010)



Obrázek 1 Římský kanalizační systém (Price, 2017)

Nicméně po kolapsu starověkých impérií nastala v oblasti odvádění odpadu „sanitární doba temna“ trvající až do poloviny 18.století. Odpad byl v této době vyhazován z oken na ulici, kde nebyl nijak zpracováván. (Henze, 2008) Jak řekl uznávaný autor Viktor Hugo v románu Chrám matky Boží v Paříži (1892): „Historie lidstva se zrcadlí v historii kanalizace, je to hrobka sloužící jako místo azylu, zločinu, chytrosti, sociálních protestů, svobody svědomí, myšlenky, krádeže, všeho, co lidské právo pronásleduje nebo pronásledovalo, vše je to ukryto v té díře.“ (Lofrano, 2010)

S narůstajícím počtem obyvatel ve městech se kolem roku 1800 začala objevovat nutnost odvádění vznikajícího odpadu z obydlí pryč, což nakonec mělo náležité využití i v zemědělských oblastech. V této době po městech jezdily sběrné vozíky, jejichž pracovníci odpad sbírali do kbelíků a na vozech odváželi pryč. První účinné návrhy řešení neudržitelné situace přišly až kolem roku 1900, kdy byl představen první návrh pro oddělený systém odpadní vody odváděné separátně z toalet a dešťových srážek. Liernurův systém založený na vakuovém odvodu splašků na přilehlá pole byl dlouhodobě používán v několika evropských městech. Problémy ovšem přišly s expanzí měst a dlouhými kanalizačními stokami. Jeden z prvních biologických filtrů byl poprvé použit již v roce 1893 ve Velké Británii, kdy vodu čistily organismy přichycené na kamenech dna řeky. O pár let později byly objeveny výhody využití aktivovaného kalu. V této době se zároveň počítalo s recipientem jako nedílnou součástí celého čistírenského procesu. Ovšem s růstem měst řeky přestaly stačit množství odpadu dočišťovat a vznikaly nároky na nitrifikační procesy a odstranění biologických látek, dusíku a fosforu. V této době byly nejčastěji provozovány biofiltry. V 60.létech 20.století se začínal řešit také další čistírenský problém, a to eutrofizace

vody. Tehdy byl poprvé použit Monodův kinetický model růstu bakterií, který je využíván dodnes.

Uvědomění si obsahu organických patogenů v odpadní vodě a jejich vliv na životní prostředí bylo začátkem systematického čištění odpadních vod. V současnosti jsou kladeny nároky na vývoj nových udržitelných technologií neznečišťujících životní prostředí. Zároveň narůstají tendence využití vyčištěné odpadní vody jako vody užitkové a na závlahy. (Henze, 2008)

2.2 Čištění odpadních vod

Metody, kterými budou odpadní vody čištěny se vybírají podle dvou hlavních faktorů, a to podle kvality surové vody a legislativních požadavků na odpadní vodu vypouštěnou do recipientu. Technologie čistíren odpadních vod se rozděluje na proces mechanicko-biologický a biologický. Mechanická část čistírny je tvořena hrubým předčištěním zakončeným usazovacími nádržemi, ve kterých jsou těžší pevné částice na základě gravitačních sil odseparovány od zbytku. Toto umožňuje snížit podíl organického znečištění ve vodě s malou energetickou náročností. (Cheremisinoff, 2012)

Sedimentace je základním pilířem čistírenství odpadních vod využívaným již od vzniku civilizací, avšak i dnes stále zůstává nedílnou součástí primárních čistírenských procesů. (Cheremisinoff, 2012) Její mechanismus je založen na separaci těžkých částic, organického materiálu (primární sedimentace), biomasy vzniklé po biologickém stupni čistírny a zahušťování kalu. (Matko, 1996) V usazovacích nádržích používaných na čistírnách odpadních vod je proces založen na gravitačních silách probíhajících v ustáleném proudu tekutiny s usazovanými částicemi. Nicméně existují i další, i když méně využívané sedimentační mechanismy, a to centrifugace založená na odstředivých silách v cyklónových separátorech, vysoušečích a mísičích, tlakové síly využívané v rozprašovacích nádržích a pneumatickém srážení a filtrech. Elektrické síly jsou využity ve speciálních technikách separace jako precipitace a vztlakové síly jsou zase napojeny na síly gravitační a rozdíl hustot separovaných látek. (Cheremisinoff, 2002)

Sekundární proces čištění využívá mikroorganismy k přeměnění organických materiálů na oxid uhličitý, vodu a energii pro jejich další růst. Existují dva typy sekundární úpravy, a to na biofiltrech, kde jsou organismy přichyceny na nosičích a suspendovaný růst

založený na aktivovaném kalu. Biofiltry se skládají z nepohyblivého materiálu jako je kámen nebo plast, na kterém se bioorganismy přichytí a rostou. Prvními používanými byly kapénkové filtry nebo pohyblivé válce s dřevěnými lištami. Následně byly v procesu používány pórovité cihly rotující kolem svých horizontálních os. Nicméně, původně dřevěné kusy měly tendenci se ucpávat, a tak byly nahrazeny kovovými disky a polyesterovými disky, které snižovaly celkovou pořizovací cenu technologie.

Ve druhém typu systému je biomasa a odpadní voda v nádržích neustále mísená za vzniku oxidačních reakcí. Sedimentovaný kal je následně odstraněn a vrácen na začátek systému a vzniká z něj tzv. aktivovaný kal. Aktivovaný kal byl poprvé použit v biologickém čištění na začátku 20. století. Zde to byly koncentrace mikroorganismů zprostředkovávající reakci, při které vzniká oxid uhličitý, voda a energie pro opětovný růst. (Lofrano, 2010)

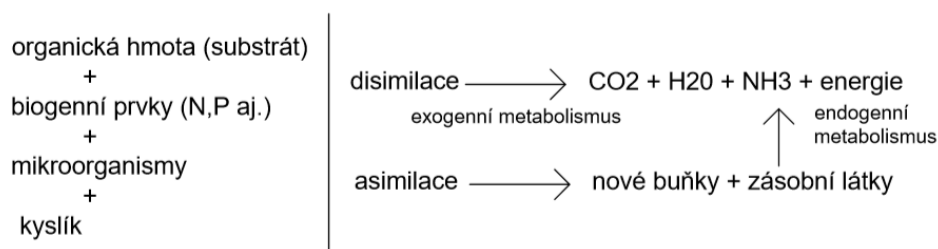
2.2.1 Biologické procesy

Biologický stupeň je založen na činnosti mikroorganismů, bakterií v biomase, na jejímž povrchu jsou suspendované a koloidní částice adsorbovány a ony samy jsou rozkládány s rozpuštěnými organickými látkami. Procesy jsou rozdělovány do tří hlavních kategorií, na procesy aerobní, probíhající za přítomnosti molekulárního kyslíku a oxidačně-redukčním potenciálem pod +150 mV, procesy anaerobní probíhající bez přítomnosti molekulárního kyslíku s potenciálem větším než -250 mV a procesy anoxické probíhající bez přítomnosti kyslíku, který je nahrazen dusičnany, resp. dusitany s potenciálem +150-250 mV.

V biologickém čištění odpadních vod jsou uplatňovány převážně procesy aerobní, ovšem za určitých podmínek lze využít i zbývajících dvou typů. Při vysoké koncentraci organického znečištění v odpadních vodách (např. průmyslové vody) se jako první řadí anaerobní jednotka následovaná jednotkou aerobní. Systém biologického čištění se skládá z aktivační fáze, kde probíhá sled denitrifikačních a nitrifikačních reakcí následovaný nádrží dosazovací, která může být použita jako poslední nitrifikační jednotka před vypuštěním do recipientu.

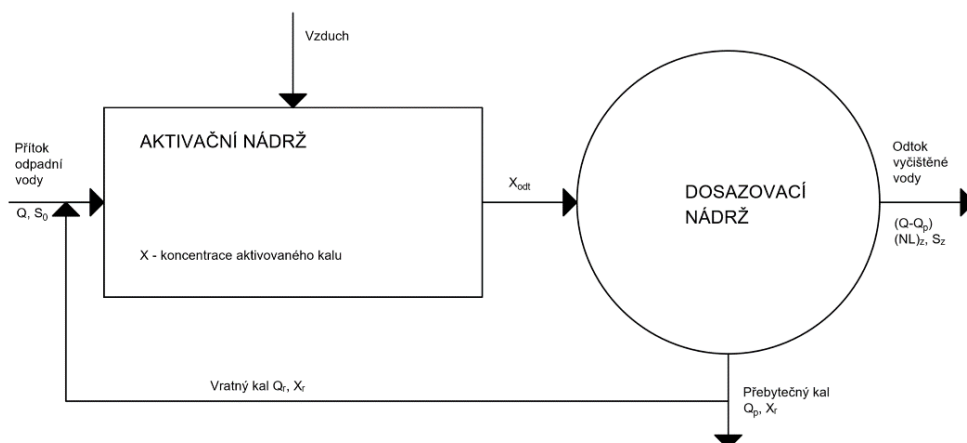
Aerobní proces je založen na činnosti aerobních organismů, které oxidačními procesy za přítomnosti molekulárního kyslíku rozkládají organické látky, proces je popsán níže na obrázku. Podmínkou pro vznik reakce je organická hmota, biogenní prvky, mikroorganismy a kyslík reagující za vzniku oxidu uhličitého, vody, převážně amoniaku a energie potřebné

k růstu dalších organismů. Probíhá-li aerobní proces v reaktorech s biomasou ve vznosu, je tento proces nazýván aktivace. (Malý, 2006)



Obrázek 2 Anaerobní rozklad organických látek (Malý, 2006)

V aktivačním procesu je využíván v provzdušňované nádrži aktivovaný kal, což jsou primárně vločky kalu tvořící se v aktivační nádrži růstem organismů v provzdušňovaných nádržích za přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Pojem aktivovaný znamená, že částice vytváří shluky společně s bakteriemi a plísněmi. Aktivovaný kal se od primárního kalu liší vysokým obsahem živých organismů, které se živí přitékající odpadní vodou. (Cheremisinoff, 2002) V aerobním procesu je tento kal vrácen po usazení z dosazovaných nádrží zpátky na začátek procesu, jelikož jeho koncentrace je základem čistícího procesu. Stáří aktivovaného kalu je definováno jako podíl objemu kalu v reaktoru ku objemu kalu vrácenému. (Henze, 2008)

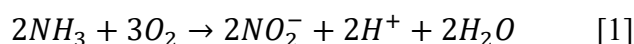


Obrázek 3 Schéma aktivace (Malý, 2006)

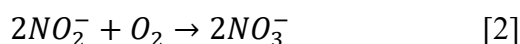
Biologické systémy tedy odstraňují z odpadních vod organické látky a podle zatížení se rozdělují do tří skupin. Nízko zatížené systémy zajišťují částečnou nebo úplnou stabilizaci biologického kalu a dochází v nich k nitrifikaci (oxidaci amoniaku). Ve středně zatížených systémech nedochází ke stabilizaci kalu a čistící schopnost není zásadně zvýšena. Vysoko zatížené systémy mají uplatnění ve velmi zatížených ČOV nebo pouze v prvním stupni čištění. (Malý, 2004)

Důvodů k odstraňování dusíku z odpadních vod je několik. Jedním z nich je, že amoniakální dusík má vysokou spotřebu kyslíku pro biochemickou oxidaci. Dusíkaté látky také přispívají k eutrofizaci vod. (Dohányos, 2007) Pojem nitrifikace popisuje biologický proces, při kterém jsou amonné ionty v roztocích oxidovány na dusitany a posléze na dusičnany. Je zprostředkován specifickými chemickými autotrofními organismy získávajících potřebný uhlík na syntézu biomasy z rozpadu CO_2 za určitých energetických požadavků z oxidace amoniaku na dusitany a dusičnany. Nitrifikace v anaerobním reaktoru probíhá díky oxidaci litotrofních bakterií *Nitrobacter*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira* a *Nitrosocystis* oxidujících amoniak a dusitany. Probíhá ve dvou navazujících fázích. V první fázi jsou amoniak a dusitany využívány k syntéze energetických požadavků, avšak určitá část amoniaku je také využita pro syntézu buněčné masy. Amoniakální požadavky na syntézu zabírají zhruba 1 %. Ve stabilním stavu se předpokládá s chováním dusitanů jako biologických katalyzátorů nitrifikačních procesů. (Henze 2008)

Rozklad amoniaku na dusitany je definován podle rovnice níže:



Posléze jsou dusitany oxidovány na dusičnany:



(Dohányos 2004)

Definice chování nitrifikace je odvozena od základní kinetiky růstu organismů oxidujících amoniak. Reakce oxidace amoniaku na dusitany je v zásadě pomalou reakcí. Po procesu se většinou nachází na odtoku pod 1 mg dusitanů/l. Limitujícím faktorem je zde přeměna amoniaku na dusitany.

Nitrifikační rychlost může být formulována podle Monodovy rovnice, která říká, že objem vytvořených organismů je fixovaná frakce použitého objemu substrátu a specifické rychlosti růstu.

$$M\Delta X_{BA} = Y_A M\Delta N_a \quad [3]$$

Kde: $M\Delta X_{BA}$ – objem vytvořených dusitanů [mg nestabilních suspendovaných částic], $M\Delta N_a$ – objem amoniaku uplatněného jako dusík [mg vysušených látek], Y_A – koeficient vznikajícího dusíku [mg nestabilních suspendovaných částic/mg N]. (Henze, 2008)

Změny v časovém intervalu jsou definovány následovně:

$$\frac{dX_{BA}}{dt} = Y_A \left[-\frac{dN_a}{dt} \right] \quad [4]$$

[mg suspendovaných částic /l.d]

Z čehož vyplývá Monodův vztah pro specifickou růstovou rychlost koncentrace amoniaku:

$$\mu_A = \frac{\mu_{Am} N_a}{K_{nT} + N_a} \quad [5]$$

[mg anorganických suspendovaných částic /l.d]

Kde: μ_A – specifická růstová rychlost koncentrace amoniaku (l/d) mg organismů oxidujících amoniak/mg organismů oxidujících amoniak za den, μ_{Am} – specifická rychlost růstu mg organismů oxidujících amoniak/mg organismů oxidujících amoniak za den, K_n – poloviční saturační konstanta, tj. koncentrace při které $\mu_A = \frac{1}{2} \mu_{Am}$ (mg N/l), N_a – objem koncentrace kapalného amoniaku (mg N/l). (Henze, 2008)

Maximální specifická růstová rychlost μ_{Am} a poloviční saturační koeficient (=afinitní koeficient), K_n pro organismy oxidující amoniak, které jsou citlivé na změny teplot, jejich hodnoty klesají s narůstající teplotou. Růstová rychlost je dána produktem specifické růstové rychlosti a koncentrací organismů (X_{BA}):

$$\frac{dX_{BA}}{dt} = \mu_{AT} X_{BA} = \frac{\mu_{AmT} N_a}{K_{nT} + N_a} X_{BA} \quad [6]$$

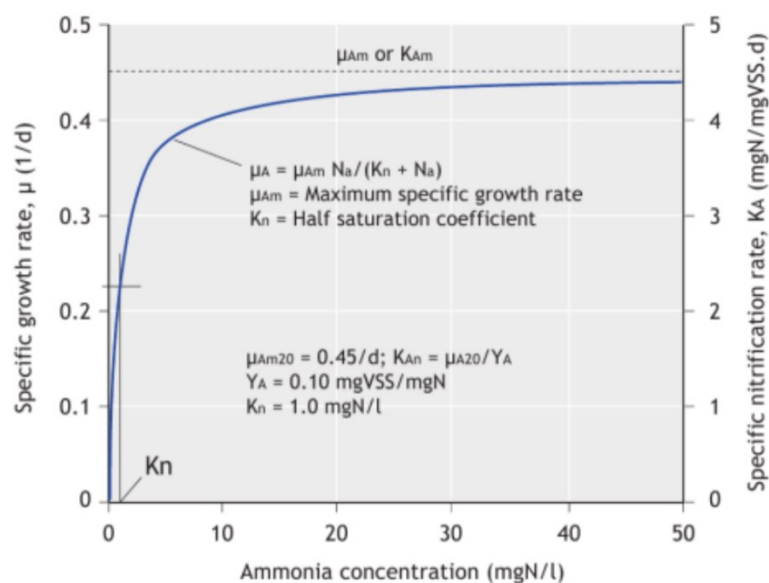
[mg organismů oxidujících amoniak/l za den]

Rychlost přeměny amoniaku je definována podle:

$$\frac{dN_a}{dt} = \frac{1}{Y_A} \frac{\mu_{AmT} N_a}{K_{nT} + N_a} X_{BA} \quad [7]$$

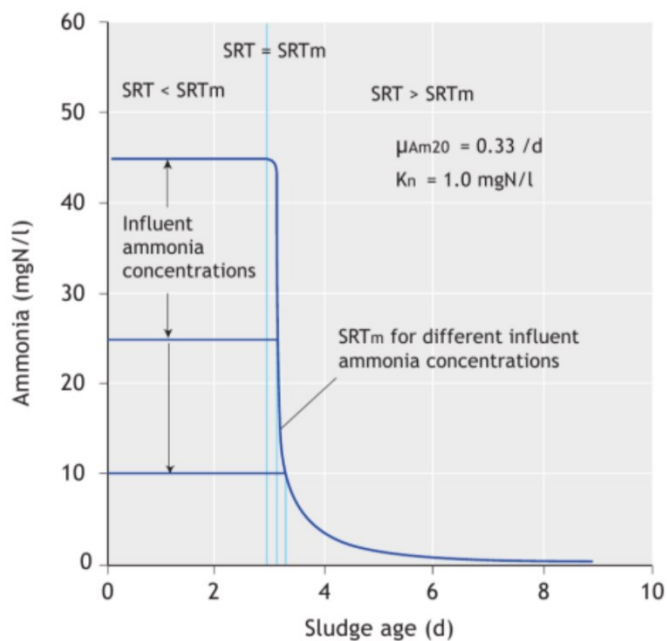
[mg roztoku amoniaku/l za den]

Specifická růstová rychlost organismů μ_A , užití specifického substrátu (nitrifikační rychlost) K_A a objem koncentrace kapalného substrátu N_a jsou vysvětleny podle Monodovy rovnice na grafu. (Henze, 2008)



Graf 1 Monodova rovnice specifického růstu pro nitrifikaci při 20 °C (Henze, 2008)

S narůstající koncentrací amoniaku prvotně prudce stoupá specifická růstová rychlost dosahující maximální specifické růstové rychlosti při 7-8 mg dusíku na litr. Následně křivka v růstu významně zpomaluje přibližující se k maximální specifické růstové rychlosti 0,5 a specifické nitrifikační rychlosti 5 mg N/mg nestabilních suspendovaných částic. (Henze, 2008)



Graf 2 Závislost koncentrace amoniaku v odpadní vodě na stáří kalu pro stabilní stav nitrifikačního modelu (Henze, 2008)

Pro stabilní fungování nitrifikace musí být koncentrace amoniaku v rovnováze se stářím kalu přítomným v nádrži. Stáří kalu je přímo závislé na koncentraci dusíku. Z křivky lze vyčíst, že ke zlomovému okamžiku dochází mezi třetím a čtvrtým dnem, kdy dochází k prudkému poklesu koncentrace amoniaku v systému. (Henze, 2008)

Odstraňování a vracení kalu je komplikované z několika důvodů, některé odpadní materiály se vyskytují v tekuté podobě, některé v koloidních roztocích, nebo jsou rozmělněny v proudu protékajícím kanalizačním systémem. Za běžných podmínek se méně, než polovina odpadu v kanalizační vodě udrží v suspenzi, která by dále mohla být oddělena cezením, sbírána z hladiny nebo usazena. Zbývající částice poté musí být odstraněny chemickými reakcemi, filtrovány nebo odstraněny biologickými procesy úpravy vody, při kterých jsou z vody odstraněny nebo přeměněny na neškodné látky, které mohou být vypouštěny dále do recipientu. Odpadní vody obsahují minerální a organickou hmotu v suspenzích, koloidním stavu¹ a v roztocích. Rozklad odpadů v čistírenských procesech je doprovázen přítomností bakterií a prvků, pro které biologický odpad představuje vydatný zdroj potravy. (Cheremisinoff, 2002)

2.3 Parametry procesů

Pro zajištění optimální úrovně čištění odpadních vod je zapotřebí pravidelně zkoumat složení těchto odpadů a dodržování splňování limitů látek na odtoku z čistíren. Každá část ČOV má svou danou funkci a nádrže by měly splňovat předepsané parametry tak, aby docházelo k co nejefektivnějšímu čištění odpadních vod. Ve své bakalářské práci se věnuji vyhodnocení, zda ČOV v Havířově naplňuje požadované parametry usazovacích nádrží a dále v biologické části čistírny, aktivaci.

2.3.1 Parametry usazování ČOV

Usazování je proces založený na využití gravitační síly a rozdílu hustot oddělovaných složek.

Hydraulická stabilita nádrže se určuje pomocí tzv. Froudeho kritéria Fr . U hydraulicky stabilních nádrží se hodnota rovná $Fr \geq 10^{-5}$.

¹ Koloidy jsou chemicky složité substance s velmi vysokou molekulární hmotností a specifickými strukturami molekul. Rozpad koloidních částic je pomalý, téměř nereagující na změny teplot a obsahující energii zajišťující život v těchto skupinách. (Mokrushin, 1962)

$$Fr = \frac{u^2}{g \times R} \quad [8]$$

Kde: g – tíhové zrychlení [m/s], u – střední průtočná rychlost kapaliny [m/s], R – hydraulický poloměr nádrže [m].

- Teoretická doba zdržení

Teoretická doba zdržení \bar{t} definuje míru doby zdržení v usazovacích nádržích.

$$\bar{t} = \frac{V}{Q} \quad [9]$$

Kde: \bar{t} – teoretická doba zdržení [min], V – objem [m³], Q – průtok [m³/h].

Skutečná doba zdržení t_s je definována jako:

$$t_s = \bar{t} \times \eta \quad [10]$$

Kde: t_s – skutečná doba zdržení [min], \bar{t} – teoretická doba zdržení [min], η – hydraulická účinnost usazovacího prostoru².

V tabulce jsou viditelné povolené limitní hodnoty usazovacích nádrží pro skutečnou dobu zdržení a povrchové hydraulické zatížení pro průtok maximální a denní.

Tabulka 1 Povolené hodnoty skutečné doby zdržení t_s a povrchového hydraulického zatížení v_n pro usazovací nádrže městských čistíren odpadních vod (Dohányos, 2004)

Usazovací nádrž	t_s [h]		v_n [m ³ m ² h ⁻¹]	
	Q_{\max}	Q_d	Q_{\max}	Q_d
Před biologickými filtry*	0,5	1,5 – 2,0	1,8 – 2,0	1,1 – 1,4
Před aktivací	0,2	0,5 – 1,5	3,6 – 4,0	2,4

* Je-li recirkulát u čistírny s biologickými filtry přiváděn před usazovací nádrže s vyrovnaním průtoku na stálou hodnotu, musí být doba zdržení v usazovacích nádržích 2,0 h. (Dohányos, 2004)

² Hodnoty jsou pro jednotlivé typy nádrží uvedeny v legislativě.

2.3.2 Parametry aktivace ČOV

- Skutečná doba zdržení

Je definována jako poměr objemu nádrže V k přítoku odpadní vody Q_1 .

$$\theta = \frac{V}{Q_1} \quad [11]$$

Kde: θ – doba zdržení [min], V – objem nádrže [m^3], Q_1 – průtok [m^3/h].

Tato definice nezahrnuje recirkulaci, pro definici skutečné doby zdržení pro směs odpadní vody a vráceného kalu θ_s platí:

$$\theta_s = \frac{V}{Q_s} \quad [12]$$

Kde: θ_s – skutečná doba zdržení [min], V – objem [m^3], Q_s – skutečný průtok [m^3/h].

Počítáme-li dobu zdržení pro směs odpadní vody a vráceného kalu θ_s :

$$\theta_s = Q_r + Q_1 = Q_1 \left(1 + \frac{Q_r}{Q_1}\right) \quad [13]$$

Kde: θ_s – skutečná doba zdržení [min], V – objem [m^3], Q_2 – skutečný průtok [m^3/h], Q_r – průtok včetně vráceného kalu [m^3/h].

Definujeme-li, že $\frac{Q_r}{Q_1}$ je recirkulační poměr R , pak:

$$\theta_s = \frac{V}{Q_s(1+R)} = \frac{\theta}{1+R} \quad [14]$$

Kde: θ_s – skutečná doba zdržení [min], V – objem [m^3], Q_s – skutečný průtok [m^3/h], R – recirkulační poměr.

- Objemové zatížení

Definováno jako hmotnostní množství organických látek přivedené do 1 m^3 nádrže za den.

$$B_V = \frac{24Q_1S_1}{V} = \frac{24S_1}{\theta} \quad [15]$$

Kde: B_V – objemové zatížení, Q_1 – přítok odpadní vody [m^3/h], S_1 – koncentrace organických látek v odpadní vodě vyjádřena hodnotou BSK_5 nebo CHSK , V – objem [m^3], θ – doba zdržení [min].

- Výkonost aktivační nádrže ΔB_v

Hmotnostní množství organických látek odstraněné v 1 m³ aktivační nádrže za den.

$$\Delta B_v = \frac{24\Delta S}{\theta} \quad [16]$$

Kde: ΔS – odtoková koncentrace organických látek v roztoku.

- Zatížení kalu B_x

Je hmotnostní množství organických látek přivedené na 1 kg celkové nebo organické sušiny kalu za den.

$$B_x = \frac{24Q_1S_1}{V\theta} = \frac{24S_1}{\theta X} = \frac{B_v}{X} \quad [17]$$

Kde: B_x – zatížení kalu, Q_1 – přítok odpadní vody [m³/h], S_1 – koncentrace organických látek v odpadní vodě vyjádřena hodnotou BSK₅ nebo CHSK, V – objem [m³], X – koncentrace celkové sušiny kalu v aktivační nádrži, B_v – objemové zatížení.

- Stáří kalu θ_x

Je definováno jako podíl hmotnosti sušiny kalu v aktivační nádrži a hmotnosti sušiny kalu odebírané za den jako přebytečný kal včetně nerozpuštěných látek unikajících odtokem.

$$\theta_x = \frac{X \times V}{24[X_w \times Q_w + X_2 \times (Q_1 - Q_w)]} \quad [18]$$

Kde: X_w – koncentrace sušiny přebytečného kalu Q_w – objem přebytečného kalu odebíraný ze systému za 1 h, X_2 – koncentrace nerozpuštěných látek v odtoku z dosazovací nádrže.

- Kalový index KI

Objem v mililitrech, který zaujímá 1 g sušiny kalu po půlhodinové sedimentaci.

$$KI = \frac{V_{30}}{X} \quad [19]$$

Kde: V_{30} – objem kalu po 30 minutách sedimentace ve válci o objemu 1 litr X – počáteční koncentrace sušiny kalu v g/l.

- Účinnost aktivačního systému E_{AS}

$$E_{AS} = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \quad [20]$$

(Dohányos, 2004)

Aktivační systémy se podle hodnot zatížení rozdělují na systémy nízko, středně a vysoko zatížené. (Dohányos, 2004) Jednotlivé hodnoty jsou popsány v následující tabulce. S nárůstem zatížení zároveň klesá doba zdržení v aktivaci. Středně a nízko zatížené systémy jsou využívány, není-li v technologii zakomponována nitrifikační jednotka. Je-li v technologii přítomna nitrifikační technologie, jedná se vždy o nízko zatížený systém.

Tabulka 2 Dělení aktivačního procesu podle zatížení (Dohányos, 2004)

Systém	B_v	B_x	Θ_x	Θ
	[kg/m ³ d]	[kg/kgd]	[d]	[h]
Nízko zatížené systémy	0,1-0,3	0,05-0,1	nad 25	24-72
Středně zatížené systémy	0,5-1,0	0,2-0,5	3-15	4-12
Vysoko zatížené systémy	nad 1,5	1-2	pod 3	1-2

3 ČOV HAVÍŘOV A JEJÍ PROVOZOVÁNÍ

Čistírna odpadních vod v Havířově patří mezi 30 ČOV v Moravskoslezském kraji obsluhovaných společností SmVaK. (SmVaK Provozy, 2020) Až do roku 1977 na území tehdejší ČSSR spadaly vodohospodářské objekty pod správu okresních národních výborů. A s cílem zkvalitnění vykonávaných činností byly následně založeny integrované krajské podniky, mezi nimi i Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava. Z této společnosti byla po rozpadu ČSFR vytvořena nástupnická společnost nová, a to Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s. (SmVaK Historie, 2020)

Čistírna odpadních vod v Havířově se nachází na severozápadním okraji města. ČOV byla vystavěna v roce 1960, následně byla několikrát rekonstruována (SmVaK Čistírna odpadních vod Havířov, 2020), poslední velká úprava technologie proběhla v roce 2005 jako reakce na úpravu legislativy v rámci zkvalitnění stokové sítě a celkového napojení všech provozů a domácností po vstupu ČR do EU v roce 2004 (Euroskop, 2020). Dnes je její maximální výkonnost nastavena na 103 000 ekvivalentních obyvatel, tedy 16,2 milionu m³ přitékající odpadní vody za rok. Odpadní vody jsou na toto místo sváděny z města Havířov, Horní Suché a Šenova. (SmVaK Čistírna odpadních vod Havířov, 2020)

3.1 Původní technologie z roku 1961

Čistírna odpadních vod v Havířově se řídila prvních pět let svého fungování provizorním provozním řádem z roku 1959, který byl zpracován společností Hydroprojekt Ostrava. Čistírna byla uvedena do provozu v roce 1961 a původní plány počítaly s napojením 70 000 EO³. Již během prvních šesti let zkušebního provozu se ukázalo, že čistírna svou kapacitou nenaplňovala původní požadavky, například po připojení většího množství obyvatel než předpokládal záměr. Provoz následně prošel řadou úprav vedoucích k navýšení objemu přiváděných odpadních vod a zároveň také úpravami o navýšení kapacity na vyšší průtok v případě dešťů. (Konstandt, 1966)

Původně byla čistírna v projektu z roku 1958 projektována na 66 782 m³/den odpadních vod a přivedené denní znečištění BSK₅ 8 254,8 kg/den. Na původní čistírnu byly odváděny odpadní vody z městských částí Havířova 1 a 3 a byla schopna vyčistit odpad od

³ EO – Ekvivalentní obyvatel je údaj značící počet trvale připojených obyvatel na čistírnu. Jeden EO odpovídá 120-150 l odpadních vod/den, znečištění BSK₅ 60 g/den. (tzb info, 2020)

cca 80 000 obyvatel s účinností 80 %. Odpadní vody z Havířova 2 a 4 byly čištěny ve čtyřech velkoprostorových nádržích dolu Dukla společně s důlními vodami. (Psota, 1990)

Hlavním cílem čistírny bylo od začátku čištění odpadní vody na mechanicko-biologickém základě s biologickým stupněm na vysoko zatížených biologických filtrech. Tento systém fungoval na základě tzv. velké recirkulace, kde se před mechanický stupeň recirkulovala směs vyčištěné vody a sekundárního kalu ode dna dosazovacích nádrží. Po rozšíření, které bylo provedeno po vyhodnocení zkušebního provozu, fungovala čistírna od roku 1966 ve složení hrubého čištění, hrubého a mechanického čištění oddělených dešťových vod, mechanického čištění, biologického čištění a kalového hospodářství. V konečném rozsahu po rozšíření byla čistírna navržena pro čištění odpadních vod od 90-ti tisíců připojených obyvatel. Objem specifické spotřeby vody⁴ se v průběhu let snížil, a tak v sedmdesátých letech 20. století bylo na čistírně počítáno se 350 l/obyvatele za den, tj. 31 500 m³/den, odpadního průtoku u bezdeštných odpadních vod. Toto množství odpovídalo průměrnému přítoku Q_{24} 1312,5 m³/hod. Původní vyměření čistírny očekávalo 70 g BSK₅/obyvatel za den, tj. konečné organické znečištění BSK₅ se pohybovalo na 6300 kg/den (průměrné znečištění 200 g/m³). Při návrhu technologické linky se předpokládaná účinnost stanovila na 80 %, díky které se zbytkové vypouštěné znečištění BSK₅ pohybovalo na 459,9 t/rok, tj. 40 g/m³. Přivaděče odpadních vod na ČOV Havířov byly v této době dva, o průměru 1200 mm, respektive 1000 mm při maximálním odvodu deště přes havarijní komoru přímo do řeky potrubím o průměru 1928 l/sec.

Za havarijní komorou byly vystavěny dvě odlehčovací komory, které byly schopny pojmout maximální průtok 568 l/s, zbývající množství přitékající odpadní vody bylo svedeno do dešťové zdrže následované hrubými česlemi a jemnými strojně stíranými česlemi, odkud byly zachycené jemnější nečistoty spláchnuty k mělniči shrabků, odkud se vracely zpět do přítoku na opětovné zpracování. Poté voda tekla na dešťovou zdrž, kde probíhal po 0,3 hodiny proces usazování, odsazená voda odtékala volně do řeky Lučiny. Během dešťových přeháněk se po ustání deště zadržaná voda přečerpala na přítok do čistírny, odkud vedla zpět na celou technologickou linku.

Za běžného stavu se voda z odlehčovací komory přesouvala na strojové hrubé předčištění do lapáku šterku, odkud putovala na hrubé a jemné česle. Následně protékala

⁴ Specifická spotřeba vody – Množství vody spotřebované v uplynulém období [m³/d]

dvoukomorovým podélným lapákem písku, jehož rychlost byla stabilizována Parshalovými žlaby, kde docházelo k usazování písku a zrnitého anorganického kalu. Poté byla voda přepuštěna do čerpací studny na písek, kde byl písek se zrnitým kalem vyprán vzduchem a přečerpán do dopravního prostředku, odkud byl odvezen na skládku. Odpadní voda byla dále vedena do provzdušňovací nádrže a dmýchána vzduchem vháněným do vody pomocí děrovaných trubních roštů, což zvyšovalo účinek sedimentace a oxidace organických nečistot.

Po provzdušnění voda odtékala do oddělovací komory, ve které mohla být hrubě oddělená vyčištěná odpadní voda vypuštěna do recipientu. Standardně voda odtékala žlabem s limnigrafem do rozdělovací nádrže, kde se rozprostřela mezi usazovací nádrže. Usazovací nádrže byly v této době vystavěny čtyři, každá o obsahu $816,0 \text{ m}^3$ s teoretickou dobou zdržení pro maximální průtok 1,60 hodiny. Zde se průtok přitékající vody rovnal průtoku recirkulačnímu. Sedimentačními mechanismy se z primárního a sekundárního kalu vytvořil tzv. smíšený surový kal, který byl shrabován ze dna nádrží a vypouštěn do kalové čerpací jímky. To bylo prováděno obsluhujícím personálem za pomoci optické kontroly. Z usazovacích nádrží mechanicky vyčištěná voda odtékala přes vypínací komoru do čerpací jímky biologické čerpárny. Odsud vedly dvě skupiny vertikálních čerpadel přečerpávající vodu na biologický stupeň. V aktivační části se nacházela čtyři vysoko zatížená biologická tělesa (dvě skupiny po dvou, každé s vlastní přiléhající dosazovací nádrží) s účinným objemem 1160 m^3 , povrchovým zatížením $0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ a objemovým zatížením $0,96 \text{ kg BSK}_5/\text{m}^3\text{den}$. Na biologických tělesech byla voda na jejich povrch rovnoměrně rozdělována rotačními skrápěči. Po průchodu rotačními skrápěči voda protékala náplní z vysokopecní strusky, zatímco byla provzdušňována a zbavována koloidních částic a organických nečistot. Odtud voda tekla středovým žlabem do dosazovací nádrže, kde byl ke středu nádrže zachycován a shrabován sekundární biologický kal, který byl dále odveden s recirkulační vodou před mechanický stupeň čistírny. Z dosazovacích nádrží vyčištěná voda odcházela sběrným žlabem do odtoku, kde se spojovala s potrubím oddělovací komory a dále odtékala potrubím pod Lučinou do jejího přítoku, řeky Datyňky.

Vyčištěná odpadní voda vyhovovala tehdejším požadavkům pro účely provozní vody, tudíž byly na odtokovém žlabu umístěny hydroforové stanice pro čerpání provozní vody, která mohla být dále využita ve vnitřním oběhu čistírny. (Konstandt, 1966)

3.2 Přestavba 1994

V průběhu let, vývojem nových technologií a s přibývajícími požadavky na vyčištěnou odpadní vodu začala být biologická část čistírny s biofiltry a účinností 80% nedostatečná, tudíž musela být tato technologická linka modernizována, aby splnila účinnost vyjádřenou hodnotou BSK₅ nad 90 %, zároveň se přidaly požadavky na odstraňování dusíkatých látek z odpadních vod. V roce 1987 bylo společností Hydroprojekt zpracováno Rozšíření ČOV Havířov tak, aby čistírna vyhovovala novějším mezinárodním standardům. Původní čistírna byla proto nahrazena novými čistírenskými jednotkami, které v říjnu 1994 zahájily svůj zkušební provoz. (Sýkora, 1995) Pro návrh nové čistírny se příslušné orgány státní expertízy vyjádřily ohledně požadavku na změnu vstupních parametrů ČOV, a to ohledně množství připojených obyvatel, specifického množství odpadních vod na obyvatele i specifického látkového znečištění u BSK₅ na jednoho obyvatele. Vstupní parametry byly poté upraveny na 100 000 budoucích připojených obyvatel, specifické množství odpadních vod 433 l/obyvatele a specifické látkové znečištění BSK₅ na 60 g/obyvatele/den. Na základě úpravy vstupních údajů byly změněny parametry některých objektů, a to zmenšením např. aktivační nádrže o 25 %. Změna velikosti této nádrže byla odůvodněna požadavkem na zvýšené technologické náklady spojené s návrhem jemnobublinatého provzdušňování. (Endrle, 1990)

Pro cílový rok 2030 návrhu nové čistírny, kdy se počítalo s nárůstem zpracování odpadní vody, se změnil i parametry výpočtů. Původně se počítalo s hodnotou specifického znečištění 54 g/obyvatele/den, tato hodnota se ovšem díky vyšší specifické spotřebě vody obyvatelstva zvýšila na 70 g/obyvatele/den. Kvůli malému recipientu, říčky Lučiny, později vtékající do Ostravice, byla stavba nové čistírny určena jako priorita pro zachování ekologicky únosných hodnot v dané oblasti.

Stavba byla původně rozdělena na čtyři části. První úsek se zabýval přípravou staveniště a uvolnění území. Druhá část plánu počítala s výstavbou nové technologické linky za neustálého fungování stávající ČOV. Po ukončení druhého úseku byla stávající ČOV vyřazena z provozu a ve třetí stavbě došlo k rekonstrukci některých jejích objektů, které byly určeny k provozu nové čistírny. Čtvrtý úsek se měl zabývat pískovou filtrací vyčištěné odpadní vody za účelem snížení NL, ovšem tento návrh byl státním expertem zrušen s odůvodněním, že se potřebných čistících výsledků musí dosáhnout v rámci výstavby

nových objektů. Nový návrh předkládal čistírnu jako mechanicko-biologickou, kde u aktivace byl navržen jednokalový systém nitrifikace – denitrifikace, který zaručuje odstraňování dusíkatých látek podle normy ČSN 73 6707. (Psota, 1990)

Pro dešťové zdrže byly využity původní objekty čistírny s kapacitou 3066,7 l/s a dobou zdržení 20 minut. (Sýkora, 1995) Přitékající voda dále z dešťové zdrže proudila na hrubé předčištění (lapák písku, hrubé česle, jemné česle s lisem na shrabky, lapák písku), mechanické čištění (dvě usazovací nádrže, šnekové čerpací stanice mechanicky vyčištěných vod), biologického čištění (aktivační nádrže, 6 karuselů s nitrifikační a denitrifikační částí, dvě dosazovací nádrže, čerpací stanice vratného kalu), kalového hospodářství (dvě zahušťovací nádrže surového kalu, dvě vyhnívací nádrže, uskladňovací nádrž, dvě zahušťovací nádrže vyhnílého kalu, odvodňování vyhnílého kalu na odstředivce), plynového hospodářství (suchý plynojem, plynová kompresorovna na míchání vyhnívacích nádrží, plynová kotelna a energetické využití přebytků bioplynu) a systému řízení technologických procesů. (Tlodka, 1995)

Pro návrh nové čistírny se muselo uvažovat o novém pravděpodobném budoucím vývoji počtu obyvatelstva a průmyslovém zatížení v oblasti. Zatímco v roce 1980 se zde počítalo s 88 540 EO (Endrle, 1991), rok 1994 hovořil o 95 050 EO (Sýkora, 1995), vyhlídky na rok 2030 činily 102 725 připojených obyvatel. Do těchto výpočtů byly uvažovány i odpadní vody z Havířova 4 a ze Šenova, které v této době ještě na čistírnu připojeny nebyly. V roce 1990 se denní přítok pohyboval kolem 38 390 m³/den odpadních vod, navrhovaný stav činil 44 479,9 m³/den. Koncentrace BSK₅ na přítoku se oproti roku 1980 měla zvýšit do roku 2000 ze 138,3 mg/l na 139,18 mg/l. (Endrle, 1991) Zároveň předpoklady uváděly přítok v roce 2000 na 4401 kg/den s nárůstem v roce 2030 na 4766,9 kg/den. (Sýkora, 1995) S předpokládaným množstvím produkovaného dusíku bylo započítáno s 0,012 kg/osoba/rok, a tak se jeho množství spolu s nárůstem obyvatelstva mělo zvýšit z 31,2 mg/l na 33,85 mg/l. (Endrle, 1991) Celkový měřený dusík se přitom v roce 1994 pohyboval v hodnotách 1140,18 kg/den, respektive výhledově v roce 2000 1232,7 kg/den. (Sýkora, 1995) Přitom se započítává 3 % úbytek dusíku na přívodu na aktivační nádrž díky vyhnílému kalu. (Endrle, 1991)

Předpokládaný vývoj obyvatelstva a průmyslu v regionu ukazoval na nárůst odpadních vod při denním průtoku 38390 m³/den v roce 1990 na 44479,9 m³/den v roce 2030. Hodnoty

BSK₅ se měly podle předpokladů zvýšit z 5313,6 kg/den BSK₅ z roku 1980 na 6190,8 kg/den BSK₅ v roce 2030, kde se předpokládaná koncentrace BSK₅ na přítoku pohybovala na hodnotách 138,3 mg/l BSK₅ z roku 1980, respektive 139,18 mg/l BSK₅ z roku 2030. Předpokládaný nárůst dusíkatých látek v odpadních vodách ukazoval na přítok 1009 kg/den s nárůstem na 1171,1 kg/den na biologickou část čistírny. (Sýkora, 1995) Nová čistírna byla navržena podle normy ČSN 73 6701 a předpokládaný vývoj průtoku a obsahu BSK₅ počítal se snížením průtoku a navýšením hodnot BSK₅. (Endrle, 1991)

Poté, co zahájila rekonstruovaná čistírna provoz, byla do poloviny února 1995 ve zkušebním provozu jedna z usazovacích nádrží. Přitom ve sledovaném období od listopadu 1994 do července 1995 přiteklo na čistírnu v průměru 19 172 m³/den odpadní vody, což odpovídá ekvivalentu splašků od 58 642 obyvatel. Průměrný průtok zajišťoval průměrnou dobu zdržení 1,3 h. Zároveň byla v provozu jedna vyhnívací nádrž, kde teoretická doba zdržení činila 7-8 dnů, což způsobovalo nedostatečné odbourání organické sušiny nerozpuštěných látek a kalovou vodu špatné kvality na vstupu do aktivace. Následně byl v únoru spuštěn provoz také druhé usazovací nádrže, čímž se doba zdržení prodloužila na 2,6 hodiny, což vedlo ke snížení hodnoty BSK₅ o 30 %. (Sýkora, 1995)

Usazovací nádrže byly vybudovány dvě, kruhové o průměru 36 m, monolitické a s výškou hladiny 2,4 m na obvodě. Střed nádrží plní funkci kalové jímky o hloubce 2 m a průměru 2 m (Bernát 1991), objemu $2 \times 2268 \text{ m}^3$ a s hydraulickou účinností 44 %. (Sýkora, 1995) Nečistoty plovoucí na hladině byly sbírány do sběrného žlabu na obvodu, který byl ukončen sběrnou jímkou. Nečistoty byly dále přečerpány do vyhnívací nádrže. Tato linka byla navržena i pro zachycení případného úniku ropných látek do kanalizace, kdy by nečistoty byly shromažďovány v jedné z nádrží k jejich dalšímu zpracování. (Bernát, 1991)

Po mechanickém čištění byly odpadní vody šnekovými čerpadly o výkonu 630 l/s čerpány na aktivační nádrž (Sýkora, 1995), která byla tvořena třemi samostatnými koridory tvořenými anoxickou – denitrifikační a oxickou – nitrifikační částí. Každý koridor měl vlastní přítok uzavíratelný stavidlovým uzávěrem. V nitrifikační části se nacházela ponorná vrtulová míchadla udržující kal ve vznosu. V nitrifikační části se nacházely ve dvou řadách středobublinné provzdušňovací rošty typu S/J. Aktivační směs z jednotlivých nitrifikačních koridorů přepadala přes přepadovou hranu do společného rozdělovacího žlabu před dosazovacími nádržemi. V tomto žlabu se také nacházela vrtulová žlabová čerpadla, která

zabezpečovala vnitřní 100 % recirkulaci kalu o maximálním průtoku 2 923 l/s. (Bernát, 1990)

Aktivace prošla rozsáhlou úpravou, na území ČR se jednalo o největší aktivační jednotku sestávající z šesti oběhových aktivací s nitrifikací a denitrifikací. Pro nezkušenosti s daným typem nádrže, byly během zkušebního provozu zjišťovány a zapisovány nedostatky a vyzkoušelo se několik variant fungování čistírny, aby mohla dále fungovat s co nejvyšší efektivitou. Aktivace byly spuštěny postupně, zároveň došlo k problémům s řízením dmychadel, díky kterým se v aktivační nádrži nenacházel dostatek O_2 , negativně ovlivňující sedimentační mechanismy aktivovaného kalu. Nedocházelo k dostatečnému navyšování koncentrace NL a zvyšoval se únik NL s vyčištěnou vodou do recipientu. Zároveň se zvyšoval obsah amoniaku a amonných iontů na více než 50 mg/l. Situaci pomohly vyřešit až vydatné deště v červenci 2005, při kterých čistírnou protéklo 52 138 m³ odpadních vod a došlo k vyplavení vláknitého oživeného kalu a kalový index se snížil, což umožnilo navýšit obsah aktivovaného kalu v aktivaci. (Sýkora, 1995)

Oběhová aktivace se skládala ze šesti jednotek o celkovém objemu 10 516 m³, z toho nitrifikace zaujímající 4120 m³ a denitrifikace 6395,7 m³. (Sýkora, 1995) Následovaly dvě dosazovací nádrže, ze kterých byla vyčištěná voda odváděna do recipientu. Aktivační nádrž byla postavena z monolitického vodostavebního železobetonu, hloubka každé nádrže byla 4 m, šířka 15 m a délka 39 m u denitrifikace a 42 m u nitrifikace. Tři oddělené koridory aktivační nádrže byly každý schopný samostatného provozu. Odpadní vody byly přivedeny na počátek nádrže do příčného rozdělovacího žlabu, ze kterého vedly do každého koridoru u dna čtyři uzavíratelné otvory o DN 800. Denitrifikační a nitrifikační části byly odděleny železobetonovou stěnou, u jejího dna se vždy nacházely tři neuzavíratelné otvory o rozměrech 0,8 x 0,6 m. Po průchodu nádrží se aktivační směs přes přepadovou hranu dostávala do sběrného žlabu. (Psota, 1990) Jednotky denitrifikace a nitrifikace bylo možno podle potřeby slučovat mezi sebou pomocí sklopných přepadových hran a ručních stavidlových uzávěrů. V každé polovině jednotky se nacházelo třináct velkoplošných jemnobublinných panelů, které zaručovaly dosažení požadované oxygenační kapacity. Přívod vzduchu byl pro každou jednotku samostatný. Pro předejití usazování kalu se v každé jednotce nacházelo ponorné vrtulové míchadlo se spouštěcím zařízením, které zajistilo minimální průtokovou rychlost 0,3 m/s. Zde se také nachází kyslíkové sondy zkoumající množství kyslíku ve vodě. (Bernát, 1991)

Na čistírně se nacházela aktivace karuselového typu, která je založena na vytvoření zón, ve kterých dochází k nitrifikaci (přeměně NH_4^+ na NO_3^-) a zón, kde se v denitrifikační nádrži hodnota rozpadu O_2 nachází pod 0,5 mg/l. Optimální pH pro růst nitrifikačních bakterií je zde 7-8,8, zároveň dochází ke snížení růstové rychlosti heterotrofních bakterií snížením zatížení kalu. Během zkušebního období se zjistilo, že karusely musely být v provozu vždy všechny současně. (Sýkora, 1995)

3.3 Rekonstrukce 2005

Metody čištění odpadních vod městské části Havířov-město, Bludovice, Dolní Suchá, Prostřední Suchá a Šumbark, město Šenov a obec Horní Suchá, musely ve spojitosti se změnou legislativních požadavků projít napojením na centrální kanalizační síť. V této souvislosti bylo na havířovskou čistírnu připojeno zhruba 12 000 nových obyvatel. Příprava na navýšení kapacity čistírny byla provedena v roce 2005, kdy proběhla rekonstrukce biologického stupně čištění a o rok později byla zahájena i dostavba technologie kalového hospodářství. Veškeré přestavby probíhaly za plného provozu čistírny. Mezi technicky nejsložitější úpravy patřilo zastřešení vyhnívací nádrže pomocí ocelového vrchníku, který musel být do výšky 15 metrů zdvižen jeřábem. Rekonstrukce kalového hospodářství společnost SmVaK stála 12,5 milionu korun. (Karvinský a Havířovský deník, 2007)

Rozsáhlé úpravy v roce 2005 byly provedeny firmou ARKO TECHNOLOGY, a.s. Jeden ze dvou hlavních důvodů stavby byla úprava mechanického čištění za účelem prodloužení doby zdržení primárního kalu tak, aby technicky vyhovoval vyššímu objemu splašků. Biologická fáze původní čistírny se sestávala z šesti oběhových nádrží, které byly nahrazeny nádržemi ve formě kaskád s pravidelným střídáním denitrifikace a nitrifikace. Pro potřeby ČOV Havířov byla kaskáda rozdělena na tři kaskády. Stavba zároveň obsahovala také rekonstrukci provozních souborů zahuštění přebytečného kalu, dále vyrovnaní odtoku kalové vody a akumulaci dovážených vod. (ARKO TECHNOLOGY, a.s., 2020)

V současnosti v Havířově funguje mechanicko-biologická ČOV s kalovým a plynovým hospodářstvím s anaerobním vyhříváním vyhnívání kalu s jeho strojním odvodňováním. Projekt byl navržen pro 103 183 EO, průtok 44 480 m³/den odpadních vod a znečištění BSK₅ 6 191 kg/den. Čistírna se skládá ze čtyř hlavních provozních celků, z toho první část zahrnuje mechanickou část čistírny začínající odlehčovací komorou a strojně stíranými česlemi, lapákem písku a hrubými česlemi, lapákem písku končící dvěma

usazovacími nádržemi s rozdělovací šachtou přítoku, čerpadly primárního plovoucího kalu a jímkou ropných látek. Druhý celek navazuje na mechanicky vyčištěnou vodu s kaskádovou aktivační nádrží, na kterou navazují dvě dosazovací nádrže s čerpacími stanicemi vratného a přebytečného kalu a dmýchárnou. Také zde dochází ke srážení fosforu. Do třetího provozního celku je zahrnuto kalové hospodářství s homogenizací přebytečného kalu, akumulací kalových vod, zahušťovací nádrží, třemi vyhnívacími nádržemi, plynojem s hořáky a energetickým využitím kalového plynu. V posledním celku se provozuje trafostanice, velín, garáže apod.

Dnes jsou odpadní vody z Havířova a okolí přiváděny na čistírnu třemi kanalizačními sběrači o DN 1000, 1200 a 1400 do odlehčovací komory, odkud voda postupuje dále do procesu. Maximálním přítékajícím průtokem na ČOV je 685 l odpadní vody/s a kapacita aktivační nádrže je 214,1 l/s. V období vydatných dešťů je voda sváděna na strojně stírané česle do dešťové zdrže. Po hrubém vyčištění na česlích a lapáku písku voda přitéká na dvě kruhové usazovací nádrže o průměru 36 m, přičemž v současnosti je z kapacitních důvodů v provozu většinou pouze jedna z nádrží. Následně se voda přečerpává na kaskádovou aktivaci sestávající ze tří kaskád, kde se rozdělí do tří stejných proudů a pokračuje na denitrifikaci a následnou nitrifikaci v každé nádrži. Je zajištěna recirkulace vratného kalu před aktivaci a přečerpání přebytečného kalu do homogenizace nebo do přítoku na usazovací nádrže. Vyčištěná voda odtéká gravitačně do řeky Lučiny, v případě nadměrného průtoku způsobeného velkými dešti je do Lučiny odvedena odpadem z původní ČOV. Fosfor je podle legislativních požadavků odstraňován na odtoku z AN a DN dávkováním chloridu železitého. Maximální přítok na AN je 18 500 m³/den a průměrný denní přítok je 13 494 m³/den. Po biologické části následuje kalové hospodářství čistírny. (Provozní řád, 2018)

Usazovací nádrže během této přestavby zůstaly zachovány – průměr jedné nádrže je 36 m a objem 2 268 m³. Jejich hydraulická účinnost je 44 %. Čištěná voda natéká do středu každé usazovací nádrže samostatnou potrubní šybkou, kde poté probíhá sedimentační proces. Kal s měrnou hmotností větší, než voda se usazuje a kal s menší měrnou hmotností flotuje na hladině. Kal ze dna nádrže je vypouštěn do jímky primárního kalu, kde se spojí se surovým kalem před UN.

Úprava čistírny v roce 2005 se mimo jiné zaměřovala na navýšení efektivity mechanické předčištění v usazovacích nádržích, které přímo ovlivňuje látkové zatížení

aktivační nádrže. Cílem úpravy bylo prodloužit dobu zdržení primárního kalu v UN, což vede k hydrolýze⁵ a promývání primárního kalu v odpadní vodě a následnému uvolnění organického znečištění, které by bylo odebráno ze systému společně se surovým kalem. Kal je z centrální části nádrže čerpán do rozdělovací komory před usazovací nádrží. Původní technologie, kde se přebytečný kal čerpal do UN, ze které byl později přesouván společně s primárním kalem do vyhnívacích nádrží byla změněna tak, že je dnes primární kal zahuštěn a přečerpán přímo do vyhnívací nádrže. Z každé UN je poté kal odváděn gravitačně samostatným potrubím o DN 800 do ČS mechanicky vyčištěných vod. Tři šneková čerpadla přivádějí vodu na aktivační nádrž, odkud poté voda až do recipientu odtéká gravitačně.



Obrázek 4 Usazovací nádrž ČOV Havířov (Foto autorka, 2019)

Kaskádová aktivace se vyznačuje sérií tří spojených kaskád, každou tvoří dvě oběhové aktivace, denitrifikace následovaná nitrifikací, tj. celkově tři nádrže denitrifikace a tři nádrže nitrifikace. Jeden stupeň kaskády je tvořen denitrifikací navázanou nitrifikací. Vysoká účinnost denitrifikace je zajištěna vedením vratného kalu na začátek aktivace, odkud se voda opět rozděluje do tří stejných proudů na jednotlivé kaskády. Dusík procházející prvním a druhým proudem prochází nitrifikací i denitrifikací a dusík procházející třetím proudem se nitrifikuje v poslední nitrifikaci. Recirkulace kalu ovlivňuje účinnost denitrifikace. Na aktivaci je přivedeno 33 % + 33 % + 33 % odpadní vody a recirkulace kalu je 100 %, z toho vyplývá účinnost denitrifikace 33,3 %, 33,3 % a 16,6 %. Celková účinnost je tudíž 83,25 %. Jednou z výhod kaskádové aktivace je také vyšší zásoba aktivovaného kalu vznikající díky

⁵ Hydrolýza je buněčný rozklad organického materiálu v reakci s vodou, při kterém vznikají dvě nebo více nových substancí. Běžné jsou acidní reakce, např. hydrolýza derivátů esterů nebo amidů. (Speight, 2017)

ředění vratného kalu na začátku aktivace. První dvě kaskády nitrifikace mají objem 1 655 m³, třetí je navýšena o objem odtokového žlabu, který je provzdušňován a zvyšuje tak objem nádrže na 1 955 m³, který složí k odtoku aktivační směsi do dosazovacích nádrží. Celkový objem nitrifikace je tudíž 6 325 m³, zatímco objem každé denitrifikace je 1 655 m³, celkově tedy denitrifikace zabírá objem 4 995 m³. Celkový objem aktivace činí 10 320 m³. Středněbublinatá aerace slouží k odplynění aktivační směsi zamezující vzniku plovoucího kalu na hladině dosazovacích nádrží. Vratný kal z dosazovacích nádrží je čerpán do první denitrifikační nádrže. Kaskády jsou od sebe odděleny vždy dvěma ocelovými deskami, které umožňují jednotlivé část odstavit, jednotlivé kaskády pracují samostatně.

Voda v denitrifikační nádrži je zdrojem organických látek, které slouží jako donory elektronů pro redukci dusičnanů a dusitanů. K sedimentaci kalu nedochází díky dvěma ponorným míchadlům zároveň zajišťujících mísení aktivovaného kalu s přitékající vodou a cirkulaci aktivační směsi. Z denitrifikace odtéká voda do nitrifikace, kde je provzdušňována jemnobublinnou aerací za míchání jedním vrtulovým míchadlem. Koncentrace rozpuštěného kyslíku se pohybuje mezi 1-3 mg/l. Z poslední kaskády směs odtéká odtokovým žlabem se středně bublinnou aerací do dosazovací nádrže (za běžného provozu je aktivní pouze jedna), která je zároveň třetí nitrifikací v řadě. Množství kalu v aktivační nádrži je regulováno množstvím recirkulujícího vráceného kalu.

Během denitrifikace je produkována kyselinová neutralizační kapacita na gram dusíku KNK_{4,5} 0,06 mol. Optimální pH je 7,0-7,5. Optimální pH se pohybuje mezi hodnotami 7,0-8,8.



Obrázek 5 Aktivační nádrž ČOV Havířov (Foto autorka, 2019)



Obrázek 6 Aktivační nádrž ČOV Havířov 2 (Foto autorka, 2019)

Jednou z dalších přestaveb v roce 2005 byla výstavba nádrže pro dovoz průmyslových odpadních vod na čistírnu pro jejich akumulaci, aby mohly být později postupně dávkovány do čistírenského procesu, aniž by ohrozily funkčnost jednotlivých segmentů.

Recipientem havířovské čistírny je řeka Lučina s průměrným ročním průtokem 199 l/s, koncentrací BSK₅ 2,33 mg/l a dusíku 0,55 mg/l. Čistírna je navržena v trvalém provozu na průměrně 250 l/s vypouštěných odpadních vod s maximem 965 l/s, měsíčním maximem 985 500 m³/měsíc a ročním 7 884 000 m³/rok. (Provozní řád, 2018)

4 SLEDOVÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ A JEJICH ANALÝZA

V mé bakalářské práci jsem vyhodnotila vybrané parametry na dvou částech ČOV Havířov – usazovacích nádržích a v části aktivace.

U usazovacích nádrží jsem vyhodnotila dobu zdržení a povrchové hydraulické zatížení nádrže. U aktivace jsem vyhodnotila dobu zdržení a objemové zatížení.

Data použitá ke zhodnocení daných parametrů byla vybrána tak, aby byly zachyceny různé stavy průtoku odpadních vod čistírnou. Výpočty jsem vypočítala z dostupných dat o průtoku přes čistírnu v dubnu, červnu, srpnu a září 2019. Za měsíc duben se jednalo o dny 15.4. a 29.4., v červnu o 3.6. a 17.6., v srpnu o dny 12.8. a 19.8. a v měsíci září 2.9. a 17.9.2019.

V provozních datech čistírny byl zapsán pouze denní průtok čistírnou, proto muselo dojít k přepočtu denního průtoku na průměrný hodinový průtok:

Výpočet duben

15.4.2019

$$Q = \frac{11\,021\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 459,21\text{ m}^3/\text{h} \quad [21]$$

29.4.2019

$$Q = \frac{14\,703\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 612,63\text{ m}^3/\text{h} \quad [22]$$

Výpočet červen

3.6.2019

$$Q = \frac{14\,372\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 598,83\text{ m}^3/\text{h} \quad [23]$$

17.6.2019

$$Q = \frac{11\,400\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 475,00\text{ m}^3/\text{h} \quad [24]$$

Výpočet srpen

12.8.2019

$$Q = \frac{16\,313\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 679,71\text{ m}^3/\text{h} \quad [25]$$

19.8.2019

$$Q = \frac{14\,230\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 592,92\text{ m}^3/\text{h} \quad [26]$$

Výpočet září

2.9.2019

$$Q = \frac{23\,738\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 989,08\text{ m}^3/\text{h} \quad [27]$$

17.9.2019

$$Q = \frac{13\,466\text{m}^3/\text{den}}{24\text{h}} = 561,08\text{ m}^3/\text{h} \quad [28]$$

4.1 Usazovací nádrže

Na čistírně se nachází 2 kruhové nádrže s mostovým shrabovákem kalu. V provozu je běžně jen jedna usazovací nádrž. Objem nádrže V je 2 268 m³, průměr 36 m. (Provozní řád, 2018)

4.1.1 Teoretická doba zdržení

Poměr objemu nádrže V k přítoku odpadní vody Q. (Dohányos, 2004)

$$\Theta = \frac{V}{Q_1} \quad [11]$$

Výpočet duben

15.4.

$$\Theta = \frac{V}{Q_1} = \frac{2\,268\text{m}^3}{459,21\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 4,94\text{h} \quad [29]$$

29.4.

$$\Theta = \frac{V}{Q_2} = \frac{2\,268\text{m}^3}{612,63\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 3,70\text{h} \quad [30]$$

Výpočet červen

3.6.

$$\Theta = \frac{V}{Q_1} = \frac{2\,268\text{m}^3}{598,83\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 3,79\text{h} \quad [31]$$

17.6.

$$\theta = \frac{V}{Q_2} = \frac{2\,268\text{m}^3}{475,00\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 4,77\text{h} \quad [32]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$\theta = \frac{V}{Q_1} = \frac{2\,268\text{m}^3}{679,71\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 3,34\text{h} \quad [33]$$

19.8.

$$\theta = \frac{V}{Q_2} = \frac{2\,268\text{m}^3}{592,92\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 3,83\text{h} \quad [34]$$

Výpočet září

2.9.

$$\theta = \frac{V}{Q_1} = \frac{2\,268\text{m}^3}{989,0833\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 2,29\text{h} \quad [35]$$

16.9.

$$\theta = \frac{V}{Q_2} = \frac{2\,268\text{m}^3}{561,0833\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 4,04\text{h} \quad [36]$$

4.1.2. Skutečná doba zdržení

Pro kruhové nádrže je hydraulická účinnost usazovacího prostoru η 0,4-0,5. (Dohányos, 2004) Pro usazovací nádrž čistírny v Havířově je podle provozního řádu číslo η rovno 0,44. (Provozní řád, 2018)

$$t_s = \bar{t} \times \eta \quad [37]$$

Výpočet duben

15.4.

$$t_s = 4,94\text{h} \times 0,44 = 2,17\text{h} \quad [38]$$

29.4.

$$t_s = 3,70\text{h} \times 0,44 = 1,63\text{h} \quad [39]$$

Výpočet červen

3.6.

$$t_s = 3,79h \times 0,44 = 1,67 h \quad [40]$$

17.6.

$$t_s = 4,77h \times 0,44 = 2,10 h \quad [41]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$t_s = 3,34h \times 0,44 = 1,47 h \quad [42]$$

19.8.

$$t_s = 3,83h \times 0,44 = 1,69 h \quad [43]$$

Výpočet září

2.9.

$$t_s = 2,2930 \times 0,44 = 1,01 h \quad [44]$$

16.9.

$$t_s = 4,0422 \times 0,44 = 1,78 h \quad [45]$$

4.1.3 Povrchové hydraulické zatížení

Povrchové hydraulické zatížení je definováno jako celkový přítok na čistírnu odpadních vod vztažený na objem přivedený na 1 m² účinného povrchu zařízení za jednotku času. (Dohányos, 2004) Průměr jedné nádrže čistírny je 36 m. (Provozní řád, 2018)

Plocha nádrže je vypočítána podle:

$$S = \pi \times r^2 \quad [46]$$

Kde: S – plocha nádrže, r – poloměr nádrže.

$$S = \pi \times 18^2 = 1\,017m^2 \quad [47]$$

Při výpočtu povrchového hydraulického zatížení je přítok Q měřen v m³/h a A_N je plocha nádrže v m².

$$v_n = \frac{Q}{A_n} \quad [48]$$

Výpočet duben

15.4.

$$v = \frac{459,21 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,45 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [49]$$

29.4.

$$v = \frac{612,63 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,60 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [50]$$

Výpočet červen

3.6.

$$v = \frac{598,83 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,59 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [51]$$

17.6.

$$v = \frac{475,00 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,47 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [52]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$v = \frac{679,71 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,67 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [53]$$

19.8.

$$v = \frac{592,92 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,58 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [54]$$

Výpočet září

2.9.

$$v = \frac{989,0833 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,97 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [55]$$

16.9.

$$v = \frac{561,0833 \frac{m^3}{h}}{1\,017 m^2} = 0,55 \frac{m^3}{m^2 h} \quad [56]$$

4.2 Aktivace

Na čistírně se nachází kaskádová aktivace složená ze tří spojených „kaskád“, z nichž je každá tvořena dvěma původními oběhovými aktivacemi. Proces začíná denitrifikační nádrží, za kterou následuje nádrž nitrifikační. Odpadní voda je po přítoku na čistírnu rozdělena do tří proudů, které se následně přivádí do jedné z denitrifikací. Vracený kal je z dosazovací nádrže přiváděn zpět na začátek aktivací nádrže. (Provozní řád, 2018)

4.2.1 Teoretická doba zdržení

Doba zdržení je definována jako poměr objemu nádrže ku hodinovému přítoku odpadní vody. Nezapočítává se recirkulace kalu. (Dohányos, 2004) Celkový objem aktivace na čistírně je $10\,320\,m^3$. (Provozní řád, 2018)

$$\theta = \frac{V}{Q_1} \quad [11]$$

Výpočet duben

15.4.

$$\theta = \frac{10\,320 m^3}{459,21 \frac{m^3}{h}} = 22,47 h \quad [57]$$

29.4.

$$\theta = \frac{10\,320 m^3}{612,63 \frac{m^3}{h}} = 16,85 h \quad [58]$$

Výpočet červen

3.6.

$$\theta = \frac{10\,320 m^3}{598,83 \frac{m^3}{h}} = 17,23 h \quad [59]$$

17.6.

$$\theta = \frac{10\,320 m^3}{475,00 \frac{m^3}{h}} = 21,73 h \quad [60]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$\theta = \frac{10\,320\text{m}^3}{679,71\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 15,18\text{h} \quad [61]$$

19.8.

$$\theta = \frac{10\,320\text{m}^3}{592,92\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 17,41\text{h} \quad [62]$$

Výpočet září

2.9.

$$\theta = \frac{10\,320\text{m}^3}{989,08\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 10,43\text{h} \quad [63]$$

16.9.

$$\theta = \frac{10\,320\text{m}^3}{561,08\frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 18,39\text{h} \quad [64]$$

4.2.2. Skutečná doba zdržení

Počítáme-li dobu zdržení pro směs odpadní vody a vráceného kalu θ_s :

$$\theta_s = \frac{V}{Q_s} \quad [12]$$

$$\theta_s = Q_r + Q_1 = Q_1 \left(1 + \frac{Q_r}{Q_1}\right) \quad [13]$$

Definujeme-li, že $\frac{Q_r}{Q_1}$ je recirkulační poměr R, pak

$$\theta_s = \frac{V}{Q_s(1+R)} = \frac{\theta}{1+R} \quad [14]$$

Výpočet duben

15.4.

Množství vráceného kalu v tento den bylo 11 549 m³. Z toho vyplývá, že průměrné množství vráceného kalu za hodinu bylo 481,21 m³. Z výpočtu doby zdržení, kdy započítáme do směsi odpadní vody i vrácený kal následná doba zdržení již odpovídá reálným požadavkům na systém.

$$\frac{11\,549\text{m}^3}{24\text{h}} = 481,21\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad [65]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{22,47h}{1+\frac{481,21m^3}{459,21m^3}} = 10,97h \quad [66]$$

29.4.

$$\frac{17\,674m^3}{24h} = 736,42 \frac{m^3}{h} \quad [67]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{16,85h}{1+\frac{736,42m^3}{612,63m^3}} = 7,67h \quad [68]$$

Výpočet červen

3.6.

$$\frac{14\,567m^3}{24h} = 606,96 \frac{m^3}{h} \quad [69]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{17,23h}{1+\frac{606,96m^3}{598,83m^3}} = 8,56h \quad [70]$$

17.6.

$$\frac{11\,519m^3}{24h} = 479,96 \frac{m^3}{h} \quad [71]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{21,73h}{1+\frac{479,96m^3}{475,00m^3}} = 10,81h \quad [72]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$\frac{16\,520m^3}{24h} = 688,33 \frac{m^3}{h} \quad [73]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{15,18h}{1+\frac{688,33m^3}{679,71m^3}} = 7,54h \quad [74]$$

19.8.

$$\frac{14\,272m^3}{24h} = 594,67 \frac{m^3}{h} \quad [75]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{17,41h}{1+\frac{594,67m^3}{592,92m^3}} = 8,92h \quad [76]$$

Výpočet září

2.9.

$$\frac{23\,707\text{m}^3}{24h} = 987,79 \frac{\text{m}^3}{h} \quad [77]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{10,43h}{1+\frac{987,79\text{m}^3}{989,08\text{m}^3}} = 5,22h \quad [78]$$

16.9.

$$\frac{13\,738\text{m}^3}{24h} = 572,42 \frac{\text{m}^3}{h} \quad [79]$$

$$\theta_s = \frac{\theta}{1+R} = \frac{18,39h}{1+\frac{572,39\text{m}^3}{561,08\text{m}^3}} = 9,10h \quad [80]$$

4.2.3 Objemové zatížení aktivační nádrže

Objemové zatížení je hmotnostní množství organických látek přivedených do 1 m³ nádrže za den. Nemění se s recirkulací.

S₁ je koncentrace organických látek v odpadní vodě vyjádřená hodnotou BSK₅ a Q₁ je přítok odpadní vody v m³/h. (Dohányos, 2004)

$$B_V = \frac{24Q_1S_1}{V} \quad [15]$$

Výpočet duben

15.4.

$$B_V = \frac{24 \times 459,21 \frac{\text{m}^3}{h} \times 339,00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{10\,320\text{m}^3} = 362,03 \frac{\text{mg}}{h \times l} \quad [81]$$

29.4.

$$B_V = \frac{24 \times 612,63 \frac{\text{m}^3}{h} \times 181,00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{10\,320\text{m}^3} = 257,87 \frac{\text{mg}}{h \times l} \quad [82]$$

Výpočet červen

3.6.

$$B_V = \frac{24 \times 598,83 \frac{\text{m}^3}{h} \times 174,00 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{10\,320\text{m}^3} = 242,32 \frac{\text{mg}}{h \times l} \quad [83]$$

17.6.

$$B_V = \frac{24 \times 475,00 \frac{m^3}{h} \times 186,00 \frac{mg}{l}}{10\,320\, m^3} = 205,47 \frac{mg}{h \times l} \quad [84]$$

Výpočet srpen

12.8.

$$B_V = \frac{24 \times 679,71 \frac{m^3}{h} \times 149,00 \frac{mg}{l}}{10\,320\, m^3} = 235,53 \frac{mg}{h \times l} \quad [85]$$

19.8.

$$B_V = \frac{24 \times 592,92 \frac{m^3}{h} \times 168,00 \frac{mg}{l}}{10\,320\, m^3} = 231,65 \frac{mg}{h \times l} \quad [86]$$

Výpočet září

2.9.

$$B_V = \frac{24 \times 989,08 \frac{m^3}{h} \times 67,0 \frac{mg}{l}}{10\,320\, m^3} = 154,11 \frac{mg}{h \times l} \quad [87]$$

16.9.

$$B_V = \frac{24 \times 561,08 \frac{m^3}{h} \times 206,0 \frac{mg}{l}}{10\,320\, m^3} = 268,80 \frac{mg}{h \times l} \quad [88]$$

5 HODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

5.1 Usazovací nádrže

Výsledné údaje týkající se usazovacích nádrží jsou uvedeny v tabulce a dále rozebrány pod tabulkou.

Tabulka 3 Souhrn výsledků parametrů usazovací nádrže

Sledovaný den	Teoretická doba zdržení [h]	Skutečná doba zdržení [h]	Povrchové hydraulické zatížení usazovací nádrže $[\frac{m^3}{m^2 h}]$
15.4.	4,94	2,17	0,45
29.4.	3,70	1,63	0,60
3.6.	3,79	1,67	0,59
17.6.	4,77	2,10	0,47
12.8.	3,34	1,47	0,67
19.8.	3,83	1,69	0,58
2.9.	2,29	1,01	0,97
16.9.	4,04	1,78	0,55

Byla vypočítána teoretická doba zdržení, která byla následně převedena na skutečnou dobu zdržení v usazovací nádrži. Ta se mění podle průměrného denního přítoku na čistírnu. Nejkratší doba zdržení čištěné vody, 1,01 hodiny, v dodaných údajích nastala 2.9.2019 díky vyššímu přítoku na čistírnu způsobenému pravděpodobně vydatnými dešťovými přeháňkami v tento den. Naopak nejdelší doba zdržení nastala 15.4.2019 a to 2,17 hodiny. U průměrných průtoků čistírnou se doba zdržení v usazovacích nádržích pohybuje nejčastěji kolem 1,6-1,7 hodiny.

Podle normy ČSN 75 6403 by se doba zdržení v kruhových usazovacích nádržích pro denní průtok měla pohybovat v rozmezí 0,5-1,5 hodiny. (Hydroprojekt, 2006) Z toho vyplývá, že skutečná doba zdržení se na ČOV v Havířově v průměrné dny překračuje, v roce 2019 byla zaznamenána pouze v minimu případů, a to v první polovině srpna a na začátku září.

Z uvedených údajů a výpočtů vyplývá, že je systém čistírny v Havířově navrhnut pro mnohem větší objem přitékající odpadní vody, než je mu v dnešní době dodáváno. Povolená doba zdržení je překročena ve většině případů. Tato skutečnost ovšem nedokazuje špatné využití nádrží a nedostatečnou čistotu vody, která prošla sedimentačním procesem. Tato skutečnost neznamena, že daná technologie nepracuje správně, právě naopak. V nádržích nedochází ke zkratovým proudům a z dostupných údajů vyplývá, že čistírna má výhodu kapacitních rezerv pro budoucí nárůst počtu obyvatelstva, připojených průmyslových závodů a navýšení průměrného přítoku odpadní vody.

Povrchové hydraulické zatížení se ve sledovaném období pohybovalo mezi hodnotami 0,45 až 0,67 $[\frac{m^3}{m^2h}]$. Podle tabulkových hodnot by se za aktivací při maximálním průtoku mělo pohybovat od 1,8 do 2,2 $[\frac{m^3}{m^2h}]$ (Dohányos, 2004). Při průměrném denním průtoku čistírnou by tyto hodnoty měly splňovat požadavky 0,5 až 1,2 $[\frac{m^3}{m^2h}]$. Čistírna v Havířově se pohybuje u spodní povolené hranice. Za uplynulý rok 2019 byly tyto hodnoty dokonce minimálně dvakrát překročeny, jelikož nedosahovaly ani 0,5 $[\frac{m^3}{m^2h}]$. Zde také uvedená skutečnost neznamena chybné fungování systému. ČOV v Havířově tímto má určitou rezervu pro větší zatížení čistírny v budoucnosti.

5.2 Aktivace

Výsledné údaje aktivace jsou zapsány v tabulce 4 a vyhodnoceny pod tabulkou.

Tabulka 4 Souhrn výsledků parametrů aktivace

Sledovaný den	Teoretická doba zdržení [h]	Skutečná doba zdržení včetně vraceného kalu [h]	Objemové zatížení aktivační nádrže $[\frac{kg}{m^3 \times d}]$
15.4.	22,47	10,97	0,36
29.4.	16,85	7,67	0,26
3.6.	17,23	8,56	0,24
17.6.	21,73	10,81	0,21
12.8.	15,18	7,54	0,24
19.8.	17,41	8,92	0,23
2.9.	10,43	5,22	0,15
16.9.	18,39	9,10	0,27

Byla vypočítána doba zdržení čištěné vody v aktivační nádrži, která byla následně vypočítána i pro dobu zdržení včetně vraceného kalu. Doba zdržení v aktivaci se u uvedených dnů lišila. Nejkratším časovým úsekem, který se voda v aktivační nádrži zdržela, bylo 5,22 hodiny. Naopak nejdelším 10,97 hodiny, tzn. více než dvojnásobné množství času oproti době nejkratší. Provozní řád ČOV udává, že maximální kontakt čištěné vody v denitrifikaci by měl být 3,3 hodiny a že současný stav se stanovuje na hodnotu 3,7 hodiny. Maximální kontakt v nitrifikační části by se měl blížit hodnotě 2,6 hodiny, současný reálný stav by měl být 3 hodiny. Když vezmeme v úvahu, že se celá aktivační nádrž skládá z denitrifikace a nitrifikace, tak by poté maximální doba zdržení měla dosahovat hodnoty 5,9 hodiny (Dohányos, 2004). Tento parametr aktivační jednotka ČOV v Havířově ve sledované dny splnila pouze jednou a to 2.9.2019, kdy doba zdržení činila 5,22 hodiny.

Čistírný odpadních vod se podle doby zdržení dělí mezi nízko, středně a vysoko zatížené systémy. Havířovská čistírna může být s dobou zdržení 4-12 hodin klasifikována jako středně zatížený systém.

Objemové zatížení aktivace dosahovalo v pozorované dny nejnižších hodnot ve dny s nejnižší dobou zdržení a nejvyšších v den s nejdelší dobou zdržení. Podle zatížení jsou normou ČSN 75 6403 čistírny klasifikovány jako nízko, středně a vysoko zatížené systémy. Pro nízko zatížené systémy se hodnota objemového zatížení pohybuje v rozmezí 0,1-0,3 kg/(m³d), pro středně zatížené systémy mezi 0,5-1,0 kg/(m³d⁻¹) a pro vysoko zatížené systémy nad 1,5 kg/(m³d⁻¹). (Hydroprojekt, 2006) ČOV v Havířově je tudíž klasifikována jako systém nízko zatížený.

Delší doba zdržení bakterií v aktivační nádrži danému procesu neškodí. Současná delší doba trvání procesu, stejně jako u usazovacích nádrží, ukazuje na rezervu systému pro budoucí nárůst množství odpadní vody nutné k vyčištění. ČOV v Havířově bude splňovat požadavky i při stoupajících požadavcích na čištěné množství.

6 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo vyhodnotit a zjistit, zda vybrané technologické parametry na ČOV Havířov vyhovují požadavkům na dané systémy. Údaje, se kterými jsem v práci pracovala, mi byly poskytnuty vedením čistírny. Zároveň v práci byly rozebrány hlavní technologické změny přestaveb ČOV v letech 1995 a 2005.

Byly provedeny výpočty vybraných parametrů usazovacích nádrží a nádrže aktivace nacházející se na dané čistírně. Z vybraných technologických parametrů byly zkoumány doba zdržení a povrchové hydraulické zatížení u usazovacích nádrží, doba zdržení a objemové zatížení u aktivace. Tyto údaje byly přehledně uspořádány do tabulek a vyhodnoceny podle standardů platných na území ČR.

Bylo zjištěno, že čistírna ve svých systémech přímo neodpovídá předepsaným hodnotám. Tento fakt ovšem neznamená, že technologie nepracuje správně. Jedním z důvodů této skutečnosti je i fakt, že daný systém byl navržen a vystavěn pro zpracovávání většího množství odpadních vod, než je mu v současnosti dodáváno. Při stavbě samotné čistírny se předpokládalo s vysokým nárůstem obyvatelstva v dané oblasti, a tak současná čistírna může čistit větší množství odpadních vod a tím je připravena na okamžité napojování obyvatel, případně průmyslu v regionu v budoucnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ARKO TECHNOLOGY, a.s. ČOV Havířov – Rekonstrukce biologického čištění: Čistírny odpadních vod a kanalizace. 2020. Dostupné z: <https://arko-brno.cz/cs/reference/cistirny-odpadnich-vod-a-kanalizace/cov-havirov-rekonstrukce-biologickeho-cistení> [cit. 2020-02-30].
2. Bernát, Pavel. Rozšíření ČOV Havířov – 2. stavba: Technologická část. Ostrava: Hydroprojekt, 1990.
3. Bernát, Pavel. Rozšíření ČOV Havířov – 2. stavba: Technická zpráva. Ostrava: Hydroprojekt, 1991.
4. Čistírna odpadních vod Havířov. SmVaK [online]. Ostrava. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/provozy/cov-havirov> [cit. 2020-02-04].
5. ČR. Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: Sbírka zákonů. 98/2001.
6. ČR. Zákon č.274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. In: Sbírka zákonů. 104/2001.
7. Dohanyos, Michal, J. Koller a N. Strnadová. *Čištění odpadních vod*. Praha: VŠCHT, 2004. ISBN 80-7080-316-9.
8. Emoto, Masaru. *Tajuplný život vody*. Praha: PRAGMA, 2005. ISBN 978-80-7349-235-9.
9. Endrle, Pavel. Důvodová zpráva. Ostrava: SmVaK, 1990.
10. Endrle, Pavel. Hydrotechnické a technologické výpočty. Ostrava: SmVak, 1991.
11. Euroskop. Česká republika. Dostupné z: <https://www.euroskop.cz/566/sekce/ceska-republika/> [cit.2020-3-25]
12. Gray, Nicholas F. *Biology of wastewater treatment*. 2. vyd. Londýn: Imperial College Press, 2004. ISBN 1-86094-328-4.
13. Henze, Mogens, van Loosdrecht M.C., Ekama, G.A. a Brdjanovic, D. *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. Londýn: IWA Publishing, 2008. ISBN 978-18-4339-188-3. Dostupné z: https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=41JButufnm8C&oi=fnd&pg=PA1&dq=waste+water+treatment&ots=nSJ3h4zD0i&sig=x_Cp0epd39ju9Cyg_FxvbemQ0Zc&redir_esc=y#v=onepage&q=waste%20water%20treatment&f=false

14. Hydroprojekt CZ, a.s. ČSN 75 6403 Čistírny odpadních vod – část 4: Primární čištění 3/03. Seznam technických norem pro vodní hospodářství, kvalitu půdy a odpadové hospodářství. Praha: 2006.
15. Hydroprojekt CZ, a.s. ČSN 75 6403 Čistírny odpadních vod – část 6: Aktivace 3/03. Seznam technických norem pro vodní hospodářství, kvalitu půdy a odpadové hospodářství. Praha: 2006.
16. Cheremisinoff, Nicholas P. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technologies*. USA: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 0-7506-7498-9.
17. Chudoba, Jan, M. Dohányos a J. Wanner. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00611-2.
18. Karvinský a Havířovský deník. *Čistírna odpadních vod je připravena na vyšší výkon*. 2007. Dostupné z: https://karvinsky.denik.cz/zpravy_region/cistirna_modernizace.html [cit.2020-2-30]
19. Konstandt, Jiří, M. Kohút, M. Sýkora. *Kanalizační čistírna Havířov: Provozní řád*. SmVaK. 1966.
20. Lofrano, Giusy, J. Brown. *Wastewater management through the ages: A history of mankind*. Science of the Total Environment. 2010, 409, 5254–5264. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710007564> [cit.2020-2-25]
21. Malý, Josef, J. Malá. *Chemie a technologie vody*. Brno: ARDEC s.r.o, 2006. ISBN 80-86020-50-9.
22. Matko, T., N. Fawcett, A. Sharp a T. Stephenson. *Recent Progress in the Numerical Modelling of Wastewater Sedimentation Tanks*. Process Safety and Environmental Protection. 1996, Vol.75/4, 245-258. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582096706274> [cit.2020-3-30]
23. Mokrushin, S.G. Thomas Graham and the definition of colloids. Nature. 1962, 4844. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/195861a0.pdf> [cit.2020-3-30]
24. Price, Michael. *Origins of Ancient Rome's famed pipe plumbing system revealed in soil samples*. Science. 2017. Dostupné z: <https://www.sciencemag.org/news/2017/08/origins-ancient-rome-s-famed-pipe-plumbing-system-revealed-soil-samples> [cit.2020-3-31]

25. Psota, Vladimír. Průvodní zpráva: Rozšíření ČOV Havířov – 2. stavba. Ostrava: SmVak, 1990.
26. Psota, Vladimír. Technická zpráva: Rozšíření ČOV Havířov – 2. stavba. Ostrava: SmVak, 1990.
27. Siegel, Seth M. *Budiž voda. Izraelská inspirace pro svět ohrožený nedostatkem vody*. Praha: ALIGIER s.r.o., 2016. ISBN 978-80-906420-0-3.
28. SmVaK. Historie [online]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/web/guest/historie> [cit.2020-3-25]
29. SmVak. *Provozní řád*. Ostrava: SmVak, 2018.
30. Soukupová, Eva. *Kam zmizela záhadná civilizace od řeky Indus?* Enigmaplus. 2018. Dostupné z: <https://enigmaplus.cz/kam-zmizela-zahadna-civilizace-od-reky-indus/> [cit.2020-3-20]
31. Speight, James G. *Industrial Organic Chemistry. Environmental organic chemistry for engineers*, 2017. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/hydrolysis> [cit.2020-5-7]
32. Sýkora, Miroslav. ČOV Havířov: Vyhodnocení zkušebního provozu. Ostrava: Hydroprojekt, a.s., OZ Ostrava, 1995.
33. Tlolká, Jan. Vyhodnocení zkušebního provozu ČOV Havířov. Ostrava: SmVaK, 1995.
34. Tzb info. Výpočet počtu ekvivalentních obyvatel. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/151-vypocet-poctu-ekvivalentnich-obyvatel#> [cit.2020-5-10]
35. Vybrané provozy společnosti SmVaK Ostrava. SmVak [online]. Dostupné z: <http://www.smvak.cz/web/guest/provozy> [cit.2020-3-25]

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AN – Aktivační nádrž

BSK₅ – Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dnů

ČOV – Čistírna odpadních vod

ČR – Česká republika

ČSSR – Československá socialistická republika

ČSFR – Česká a Slovenská federativní republika

DN – Denitrifikační nádrž

EO – Ekvivalentní obyvatel

EU – Evropská unie

NL – Nerozpuštěné látky

O₂ – Molekulární kyslík

Q₂₄ – Denní průtok

WWTP – Wastewater treatment plant

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Římský kanalizační systém (Price, 2017).....	4
Obrázek 2 Anaerobní rozklad organických látek (Malý, 2006).....	7
Obrázek 3 Schéma aktivace (Malý, 2006)	7
Obrázek 4 Usazovací nádrž ČOV Havířov (Foto autorka, 2019)	25
Obrázek 5 Aktivační nádrž ČOV Havířov (Foto autorka, 2019)	26
Obrázek 6 Aktivační nádrž ČOV Havířov 2 (Foto autorka, 2019)	27

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Povolené hodnoty skutečné doby zdržení t_s a povrchového hydraulického zatížení v_n pro usazovací nádrže městských čistíren odpadních vod (Dohányos, 2004).....	12
Tabulka 2 Dělení aktivačního procesu podle zatížení (Dohányos, 2004).....	15
Tabulka 3 Souhrn výsledků parametrů usazovací nádrže	38
Tabulka 4 Souhrn výsledků parametrů aktivace	40

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Monodova rovnice specifického růstu pro nitrifikaci při 20 °C (Henze, 2008)	
.....	10
Graf 2 Závislost koncentrace amoniaku v odpadní vodě na stáří kalu pro stabilní stav nitrifikačního modelu (Henze, 2008).....	10